



Fecha de presentación del Informe: Día  Mes  Año

### Datos generales del Proyecto

Código del proyecto: 2699			
Título del proyecto: Caracterización Biomédica de Materiales Osteoconductivos			
Facultad o Instituto Académico: Facultad de Ingeniería			
Departamento o Escuela: Escuela de Ingeniería de Materiales			
Grupo (s) de investigación: TPMR (Escuela de Ingeniería de Materiales) y GRUPO DE FARMACOLOGÍA (Facultad de Salud)			
Investigadores <sup>1</sup>	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	Yesid Aguilar Castro	10 h/semana	10 h/semana
Coinvestigadores	Óscar Gutiérrez	5 h/semana	5 h/semana
Otros participantes	Jaime Muñoz	5 h/semana	5 h/semana
	Adriana Esguerra Arce	25 h/semana	40 h/semana
	Johanna Esguerra Arce	25 h/semana	40 h/semana

### 1. Resumen ejecutivo:

Se diseñó una novedosa mezcla de fosfatos de calcio y titanato de calcio con el fin de obtener un recubrimiento con comportamiento mecánico, adhesión y osteoconducción superiores a los recubrimientos usados actualmente en vástagos de prótesis de cadera. Para ello se obtuvieron mezclas de hidroxiapatita en polvo con 25, 50 y 75% en volumen de titanato de calcio, se compactaron y se sinterizaron en atmósfera de aire. Después del tratamiento térmico, estos compuestos de oxihidroxiapatita ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2-2x}\text{O}_x$ ) y titanato de calcio se evaporaron por medio de magnetrón *sputtering* sobre un sustrato AISI 304/Ti, obteniéndose los respectivos recubrimientos. Igualmente se produjeron recubrimientos 100% fosfato de calcio (CP) y 100% titanato

<sup>1</sup> Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.



de calcio (TC). Se hizo un análisis detallado de los pasos *polvo* → *blanco* y *blanco* → *recubrimiento* mediante caracterización química y microestructural en cada paso. A los recubrimientos se les evaluaron sus características topográficas, mecánicas, electroquímicas, tribológicas y biomédicas *in vitro*. Se encontró que los recubrimientos 75CP-25TC y 0CP-100TC son superiores a los recubrimientos 100CP-0TC, 50CP-50TC y 25CP-75TC, por lo que son candidatos apropiados como recubrimientos para remplazo de tejido óseo y regeneración. El recubrimiento 75CP-25TC mostró como ventaja una mayor osteoconductividad *in vitro* y el recubrimiento 0CP-100TC mostró como ventaja que desgasta menos al tejido óseo en interacción tribo-electroquímica. Por tanto, ambos se proponen para estudios posteriores de caracterización *in vivo*.

Por otro lado, se propuso el uso del sistema de recubrimientos Ti-Al-N/Fosfato de calcio – quitosano (FC-QS) para aplicación en sistemas de fijación ósea externa. El recubrimiento Ti-Al-N para mejorar la resistencia a la corrosión por *fretting*, y el recubrimiento de fosfato de calcio – quitosano como recubrimiento bioactivo y biodegradable. El recubrimiento de  $Ti_{1-x}Al_xN$  se sintetizó por medio de magnetrón co-*sputtering*. Se evaluó el efecto del contenido atómico de aluminio,  $x$ , en su resistencia a la corrosión y a la corrosión por *fretting*, así como en su desempeño biomédico *in-vitro*. El valor de  $x$  fue igual a 0.39, 0.47, 0.61 y 0.69 y las fases encontradas fueron la TiN tipo NaCl y la  $Ti_2AlN$ . Todos los recubrimientos mostraron ser biocompatibles. El recubrimiento con  $x = 0.39$  se escogió como el recubrimiento óptimo dado su mejor desempeño.

El recubrimiento de 70%FC-30%QS se sintetizó por medio de co-precipitación química y por inmersión de los sustratos. Se evaluó el efecto de la relación ácido cítrico a  $[Ca^{+2}]$  en la estabilidad de películas de FC-QS, en su topografía superficial y en su adherencia, variando la relación en 2:1, 3:1 y 4:1. Los tres recubrimientos mostraron ser biocompatibles y se encontró una influencia de la relación ácido cítrico a  $[Ca^{+2}]$  en la composición química de los recubrimientos, así como en su rugosidad y adherencia sobre el acero. El recubrimiento con relación 2:1 presentó la mayor adherencia y biocompatibilidad, por lo que se seleccionó para ser depositado sobre el recubrimiento óptimo de  $Ti_{1-x}Al_xN$ . Se concluyó que el sistema  $Ti_{0.61}Al_{0.39}N/FC-QS$  con relación ácido cítrico a  $[Ca^{+2}]$  de 2:1 exhibe las propiedades idóneas para la aplicación propuesta, por lo que se propone como candidato para pruebas biomédicas *in-vivo*.

It has been found that biomedical devices such as bone fixation screw and femoral stem of hip prosthesis, made of conventional materials exhibit poor osseointegration, leading to loosening and thus to discomfort in patients. To improve this, in this project coatings were synthesized by physical and chemical deposition processes on AISI 304. These coatings were titanium nitride aluminum, hydroxyapatite-chitosan and hydroxyapatite-calcium titanate varying chemical composition and evaluating *in-vitro* biomedical properties, such as hemolysis, cytotoxicity and genotoxicity. It was found that the synthesized materials are no biocompatible, being non-hemolytic, cytotoxic or genotoxic, making them candidates for *in-vivo* biomedical evaluation for possible applications in the

medical field.

## 2. Síntesis del proyecto:

**Tema:** Este proyecto se enfocó en la obtención y caracterización de recubrimientos para aplicaciones biomédicas de reemplazo y regeneración de tejido óseo.

**Objetivo general:** Sintetizar, caracterizar biomédicamente *in-vitro* recubrimientos osteoconductivos preparados con base en hidroxiapatita-titanato de calcio e hidroxiapatita-quitosano/Ti-Al-N depositadas sobre acero AISI 304.

### Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la adición de titanato de calcio a las películas de fosfato de calcio en el recubrimiento de Ti/TC-CP en el mejoramiento de las propiedades biocompatibles de citotoxicidad, genotoxicidad y hemólisis sobre acero inoxidable AISI 304.
- Evaluar el efecto del contenido de aluminio en las propiedades biocompatibles de citotoxicidad, genotoxicidad y hemólisis en películas de Ti-Al-N depositadas sobre acero inoxidable AISI 304.
- Evaluar el efecto de la relación ácido cítrico:[Ca<sup>+2</sup>] en la estabilidad de películas de 70%hidroxiapatita-30%quitosana en su topografía superficial y en su biocompatibilidad *in-vitro* (citotoxicidad, genotoxicidad y hemólisis).
- Evaluar el efecto del recubrimiento óptimo de Ti-Al-N/HA-QS en el mejoramiento de las propiedades biocompatibles *in-vitro* (citotoxicidad, genotoxicidad y hemólisis) del acero inoxidable AISI 304.

### Metodología

Para la obtención de los recubrimientos de fosfato de calcio y titanato de calcio (CP-TC) se obtuvieron mezclas de hidroxiapatita en polvo con 0, 25, 50, 75 y 100% en volumen de titanato de calcio, se compactaron a 150 MPa y se sinterizaron en atmósfera de aire a una temperatura entre 1100 y 1200 °C. Después del tratamiento térmico, estos compuestos de oxihidroxiapatita ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2-2x}\text{O}_x$ ) y titanato de calcio se evaporaron por medio de magnetrón *sputtering* sobre un sustrato AISI 304/Ti, obteniéndose los respectivos recubrimientos.

Se hizo un análisis detallado de los pasos *polvo* → *blanco y blanco* → *recubrimiento* mediante la caracterización química y microestructural de los materiales en cada paso y llevando a cabo un estudio termogravimétrico de las mezclas de polvos en el rango de temperatura de sinterización. Una vez obtenidos los recubrimientos se realizó un estudio exhaustivo propio de la aplicación, determinando sus características topográficas a través de AFM y SEM; sus propiedades mecánicas (dureza y módulo



elástico) por medio de nanoindentación; su adherencia mediante ensayo de rayado; sus propiedades electroquímicas por medio de curvas potenciodinámicas en fluido corporal simulado (SBF, del inglés *simulated body fluid*) a temperatura corporal; sus propiedades tribológicas en un ensayo de *fretting*-corrosión en SBF contra hueso bovino a temperatura corporal; sus propiedades biomédicas realizando pruebas de citotoxicidad, genotoxicidad y hemólisis *in vitro*; y, por último, su habilidad de precipitar apatita como medida de osteoconducción *in vitro* por inmersión de las muestras en SBF a temperatura corporal.

El recubrimiento de  $Ti_{1-x}Al_xN$  se sintetizó por medio de magnetrón co-*sputtering*. Con el fin de escoger un óptimo, se evaluó el efecto del contenido atómico de aluminio,  $x$ , en su resistencia a la corrosión y a la corrosión por *fretting* en fluido corporal simulado, así como en su capacidad de inducir hemólisis y en su efecto citotóxico y genotóxico y en su bioactividad.  $x$  tomó los valores de 0.39, 0.47, 0.61 y 0.69 y las fases encontradas fueron la TiN tipo NaCl y la  $Ti_2AlN$ . A estos recubrimientos se les evaluaron sus propiedades mecánicas (dureza y módulo elástico) por medio de nanoindentación; su adherencia mediante ensayo de rayado; sus propiedades electroquímicas por medio de curvas potenciodinámicas en SBF a temperatura corporal; sus propiedades tribológicas mediante *fretting*-corrosión en SBF contra hueso bovino a temperatura corporal; sus propiedades biomédicas realizando pruebas de citotoxicidad, genotoxicidad y hemólisis *in vitro*; y, por último, su habilidad de precipitar apatita en SBF a temperatura corporal. De estos recubrimientos se seleccionó un óptimo para ser usado con el recubrimiento óptimo de fosfato de calcio-quitosano. El recubrimiento de 70%FC-30%QS se sintetizó por medio de co-precipitación química y por inmersión de los sustratos en la solución. Se evaluó el efecto de la relación ácido cítrico a  $[Ca^{+2}]$  en la estabilidad de películas de FC-QS, en su topografía superficial (evaluada por perfilometría óptica) y en su adherencia sobre acero inoxidable (evaluada según norma ASTM F11-4705), variando la relación en 2:1, 3:1 y 4:1.

### Resultados obtenidos

Con respecto a los recubrimientos CP-TC se encontró que durante el proceso de sinterización de los blancos se produjo deshidroxilación de la hidroxiapatita formando oxihidroxiapatita, la cual, en el proceso siguiente de evaporación por magnetrón *sputtering* llegó a los sustratos en forma de fosfato tricálcico y tetracálcico. Esto se explica por la tendencia de los recubrimientos a quedar carentes de P y de grupos OH al evaporar blancos de hidroxiapatita por magnetrón *sputtering*. De manera similar, el titanato de calcio mostró una tendencia a formar recubrimientos carentes de Ti y O. Con respecto a la microestructura, se determinó que sólo el recubrimiento de composición 50CP-50TC presenta granos definidos de ambas fases, CP y TC; mientras que en los recubrimientos 25-75, la fase presente en menor proporción es de tamaño nanométrico y está dispersa dentro de los granos definidos de la fase presente en mayor proporción. Esto llevó a que la dureza del recubrimiento 50-50 fuera similar a la del recubrimiento



100CP-0TC, mientras que la dureza de los recubrimientos 25CP-75TC y 75CP-25TC se ajustó a una ley de mezclas y se explicó mediante reforzamiento por dispersión de una segunda fase. La adherencia de los recubrimientos se incrementó al adicionar un material en el otro y fue máxima en el recubrimiento 50-50. Todos los recubrimientos presentaron una mejora en las propiedades electroquímicas del sustrato al disminuir la corriente de corrosión e incrementar los potenciales de corrosión. Los recubrimientos menos duros fueron menos resistentes a la corrosión por *fretting* y aquellos con mayor contenido de titanato de calcio desgastaron menos al hueso. Todos los recubrimientos demostraron ser no citotóxicos, no genotóxicos y no hemolíticos en las pruebas *in vitro*. Propiedades tales como la rugosidad superficial y la composición química de los recubrimientos influenciaron la habilidad para precipitar apatitas *in vitro*, siendo máxima en el recubrimiento 75CP-25TC.

En el caso de los recubrimientos de Ti-Al-N, todos los recubrimientos mostraron ser biocompatibles, es decir, no causan hemólisis, ni presentan efecto citotóxico ni genotóxico en osteoblastos humanos. El recubrimiento con  $x = 0.39$  presentó la mayor resistencia a la corrosión y a la corrosión por *fretting* y la segunda mejor bioactividad, mientras que el recubrimiento con  $x = 0.69$  presentó la mejor bioactividad pero una resistencia a la corrosión por *fretting* similar a la del sustrato, por lo que el recubrimiento con  $x = 0.39$  se escogió como el recubrimiento óptimo.

De los recubrimientos de fosfato de calcio-quitano, los tres recubrimientos mostraron ser biocompatibles y se encontró una influencia de la relación ácido cítrico a  $[Ca^{+2}]$  en la composición química de los recubrimientos, así como en su rugosidad y adherencia sobre el acero. El recubrimiento con relación 2:1 presentó la mayor adherencia y biocompatibilidad, por lo que se seleccionó para ser depositado sobre el recubrimiento óptimo de  $Ti_{1-x}Al_xN$ . Después de un día de inmersión en fluido corporal simulado el recubrimiento exhibió precipitados superficiales micrométricos de P y Ca, y después de 16 días de inmersión, debido a su biodegradación en el medio, formó una estructura de poros, cuyo diámetro estuvo entre 2 y 7  $\mu m$ . Además se encontró que el uso del recubrimiento de  $Ti_{1-x}Al_xN$  con  $x = 0.39$  como capa intermedia mejoró la adherencia del recubrimiento con el acero inoxidable.

### Principales conclusiones y/o recomendaciones

Con respecto a los recubrimientos CP-TC se encontraron las siguientes conclusiones principales:

- Los recubrimientos de titanato de calcio obtenidos mediante magnetron *sputtering* tienden a quedar deficientes en oxígeno y en titanio. Lo primero por fenómenos de re-bombardamiento en el recubrimiento en crecimiento por parte del argón; y lo segundo debido al mayor peso del Ti con respecto al calcio y al argón, lo que hace que sea más difícil de arrancar que el Ca del blanco.
- Al obtener recubrimientos de mezcla a partir de blancos de oxihidroxiapatita y



titanato de calcio se observó que la cantidad de átomos de un material que llega al recubrimiento se ve afectada por la presencia del otro. En el recubrimiento 75CP-25TC la relación Ti/P fue menor que la esperada y en los recubrimientos 50CP-50TC y 25CP-75TC, mayor. Se propuso que a bajos contenidos de titanato de calcio en el blanco prima el efecto de difícil arrancamiento de los átomos de Ti sobre el efecto de re-bombardeo de P del recubrimiento; mientras que a altos contenidos de titanato de calcio, prima el efecto de re-bombardeo del P de los recubrimientos sobre el efecto de difícil arrancamiento del Ti del blanco.

- Al obtener recubrimientos de mezcla de este tipo mediante magnetrón *sputtering*, la microestructura no es de granos definidos de cada uno de los materiales a lo largo de toda la composición. En los recubrimientos 25-75 se encontró que el material en proporción 75 funciona como matriz, mientras que el material en proporción 25 está disperso nanométricamente en ella. Esto dado el mecanismo de obtención de los recubrimientos: el blanco se evapora y sus átomos se desensamblan para volver a ensamblarse en el recubrimiento, por lo que el material en mayor proporción forma granos quedando como matriz y el material en menor proporción no logra formar granos independientes sino que queda embebido dentro del material presente en mayor proporción. En el caso del recubrimiento 50-50, dada la igualdad en proporciones de los materiales, cada uno de estos tiene la oportunidad de formar granos definidos.
- Electroquímicamente se encontró que todos los recubrimientos protegen al sustrato, es decir, en los cinco casos los potenciales de corrosión se movieron hacia valores más positivos y los valores de densidad de corriente se corrieron hacia valores más bajos.
- Tribológicamente se observó que, dada la naturaleza cerámica, es decir, “inerte”, de los recubrimientos, hay un mayor efecto mecánico que electroquímico en la resistencia al *fretting*-corrosión de los mismos. Así, los recubrimientos 75CP-25TC, 50CP-50TC y 25CP-75TC se mostraron inalterados en el ensayo, mientras que los recubrimientos 100CP-0TC y 50CP-50TC sufrieron desgaste hasta el punto de dejar expuesto el sustrato, lo cual se explicó por su más baja dureza.
- El desgaste del hueso contra los recubrimientos fue abrasivo y por delaminación. Entre más contenido de titanato de calcio en los recubrimientos, menos se desgastó la contraparte de hueso. Esto se explicó por una mayor adherencia de hueso al recubrimiento después del desgaste inicial, el cual seguía protegiendo al pin de sufrir más desgaste.
- Todos los recubrimientos son no citotóxicos, no genotóxicos y no hemolíticos *in vitro*.
- Se observó un mayor efecto de la rugosidad que de la composición química en la precipitación de apatita *in vitro* sobre los recubrimientos. Una mayor rugosidad llevó a más apatita precipitada, la cual fue, en estos casos, de tamaño nanométrico. Sin embargo, dado que la rugosidad del recubrimiento 75CP-25TC fue menor que la de los recubrimientos 100CP-0TC y 0CP-100TC y presentó



más precipitados en su superficie, se concluye que hay una mejora en la habilidad de precipitación de apatitas del recubrimiento CP al adicionarle 25% de TC.

- Se recomiendan los recubrimientos 75CP-25TC y 0CP-100TC para pruebas *in vivo* con el fin de evaluar su idoneidad como materiales para aplicaciones ortopédicas en vástagos de prótesis de cadera.

Con respecto a los recubrimientos de Ti-Al-N/FC-QS se encontraron las siguientes conclusiones principales:

- El contenido atómico de Al,  $x$ , varía con la potencia aplicada al blanco de este material en 0.39, 0.47, 0.61 y 0.69. Los recubrimientos con  $x = 0.39, 0.47$  y  $0.61$  constan de dos fases, la cúbica TiN tipo NaCl y la hexagonal  $Ti_2AlN$ . La intensidad de los picos de la fase cúbica TiN disminuye con la adición de Al hasta que, al llegar a  $x = 0.69$  se observa sólo la fase hexagonal  $Ti_2AlN$ .
- La rugosidad de los recubrimientos se incrementa con el contenido atómico de Al hasta  $x = 0.61$ , valor a partir del cual empieza a disminuir.
- La dureza de los recubrimientos se incrementa con el contenido atómico de Al hasta  $x = 0.47$ , valor a partir del cual empieza a disminuir. La mayor dureza de los recubrimientos ricos en titanio se debe a que las fases que los componen son más duras que las fases que componen a los recubrimientos ricos en Al.
- Los recubrimientos con  $x = 0.39, 0.47$  y  $0.61$  son más resistentes a la corrosión por *fretting* que el acero inoxidable, mientras que el recubrimiento con  $x = 0.69$  presenta un desgaste similar al acero.
- En general los recubrimientos de Ti-Al-N son biocompatibles, debido a que no causan hemólisis ni genotoxicidad o citotoxicidad *in vitro* a osteoblastos humanos.
- Todos los recubrimientos de Ti-Al-N son capaces de precipitar hidroxiapatita en su superficie después de estar en contacto con fluido corporal simulado, además de monetita. El recubrimiento con  $x = 0.69$  presenta la mayor osteoconductividad.
- Teniendo en cuenta que el recubrimiento con  $x = 0.39$  presentó la mayor resistencia a la corrosión y a la corrosión por *fretting* en fluido corporal simulado y es el segundo recubrimiento más osteoconductor, se concluye que es el recubrimiento con mejor comportamiento biomédico para aplicaciones en ortopedia y fue seleccionado como capa semilla para la deposición del recubrimiento de fosfato de calcio – quitosano posterior.
- Según el análisis de FTIR, DRX, DSC y TGA, se encontró que los recubrimientos de FC-QS están compuestos por quitosano, hidroxiapatita y monetita. Observando el análisis termogravimétrico, se infiere que el contenido de quitosano en los compuestos denominados 2:1, 3:1 y 4:1 es de 33, 52 y 48%, respectivamente. Esta variación se debió a la variación del pH en las soluciones precursoras, ya que al parecer un efecto de apantallamiento sobre los grupos



aniónicos del ácido cítrico afecta la cantidad de quitosano y fosfato de calcio nucleado y precipitado en su superficie.

- Todos los recubrimientos de FC-QS probaron ser biocompatibles, ya que no presentan efecto genotóxico, citotóxico ni hemolítico. El recubrimiento 2:1 presentó mayor adherencia que el 4:1, mientras que la adherencia del recubrimiento 3:1 fue nula. Así, teniendo en cuenta que el recubrimiento de nomenclatura 2:1 contiene el mayor contenido de fosfato de calcio y presentó la mayor adherencia y biocompatibilidad, se procedió a depositar este material sobre el acero inoxidable usando el recubrimiento de Ti1-xAlxN óptimo como capa intermedia.
- Después de un día de inmersión en SBF el recubrimiento óptimo Ti-Al-N/FC-QS exhibió precipitados superficiales que constan de P y Ca y después de 16 días, debido a su biodegradación en el medio, formó una estructura tipo andamio con porosidades entre 2 y 7  $\mu\text{m}$ . Por último, se encontró que el uso del recubrimiento de Ti1-xAlxN con  $x = 0.39$  como capa intermedia mejora la adherencia del recubrimiento de  $2.3 \pm 0.2$  MPa que registró con el acero inoxidable, a  $10.7 \pm 0.5$  MPa.

### 3. Productos:

Tabla No. 1. **Cantidad y tipo de productos pactados en el *Acta de Trabajo y Compromiso* y productos finalmente presentados**

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS	No. de PRODUCTOS PRESENTADOS
<b>Productos de nuevos conocimientos</b>		
Artículo completo publicado en revistas A1 o A2	2	2
Artículo completo publicados en revistas B		
Artículo completo publicados en revistas C		
Libros de autor que publiquen resultados de investigación		
Capítulos en libros que publican resultados de investigación		





<b>TIPO DE PRODUCTOS</b>	<b>No. de PRODUCTOS PACTADOS</b>		<b>No. de PRODUCTOS PRESENTADOS</b>	
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados				
• Prototipos y patentes				
• Software				
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial				
Normas basadas en resultados de investigación				
<b>Formación de recursos humanos</b>	No. de estudiantes vinculados	No. de tesis	No. De estudiantes Vinculados	No. De tesis
Estudiantes de pregrado			2	
Semillero de Investigación	3		1	
Estudiantes de maestría				
Estudiantes de doctorado	2	2	2	2
<b>Productos de divulgación</b>				
Publicaciones en revistas no indexadas				
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales
	1	1	1	1
<b>Propuesta de investigación</b>				
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.	1		1	



### Tabla No. 2. Detalle de productos.

Para cada uno de los productos obtenidos y relacionados en la tabla anterior, indique la información solicitada para cada uno, anexando copia de las respectivas constancias. Como anexo a esta guía encontrará el instructivo para instructivo para la revisión de informes finales y productos

Tipo de producto:	Artículo
Nombre General:	<i>J. Esguerra Arce, A. Esguerra Arce, Y. Aguilar, L. Yate, S. Moya, C. Rincón, O. Gutiérrez.</i> Calcium phosphate–calcium titanate composite coatings for orthopedic applications. <b>Ceramics International</b> 42 (2016) 10322–10331.
Nombre Particular:	<b>Artículo</b> Calcium phosphate–calcium titanate composite coatings for orthopedic applications
Ciudad y fechas:	Oxford, Inglaterra. Aceptado para publicación el 27 de febrero de 2016. Disponible online desde el 4 de marzo del 2016.
Participantes:	Johanna Esguerra Arce, Adriana Esguerra Arce, Yesid Aguilar Castro, Luis Yate, Sergio Moya, Carlos Rincón, Óscar Gutiérrez.
Sitio de información:	Journal homepage: <a href="http://www.elsevier.com/locate/ceramint">www.elsevier.com/locate/ceramint</a> <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.02.177">http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.02.177</a> 0272-8842/& 2016PublishedbyElsevierLtd.
Formas organizativas:	<ul style="list-style-type: none"><li>- TPMR, Escuela de Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle, Calle 13 # 100 – 00 ,A.A. 25360, Cali, Colombia.</li><li>- Grupo de Farmacología, Facultad de Salud, Universidad del Valle, Calle 4B No 36 - 00, A.A. 25360, Cali, Colombia.</li></ul>



Tipo de producto:	Artículo
Nombre General:	<i>J. Esguerra-Arce, A. Esguerra-Arce, S. Mischler, Y. Aguilar, O. Gutiérrez.</i> Fretting corrosion of coatings against bone. <b>European Cells and Materials</b> 30. Suppl. 1 (2015) 38.
Nombre Particular:	<b>Artículo</b> Fretting corrosion of coatings against bone.
Ciudad y fechas:	Davos, Switzerland. Junio 2015.
Participantes:	Johanna Esguerra Arce, Adriana Esguerra Arce, Stefano Mischler, Yesid Aguilar Castro, Óscar Gutiérrez.
Sitio de información:	<a href="http://www.ecmjournal.org">http://www.ecmjournal.org</a> <a href="http://www.ecmjournal.org/journal/supplements/vol030supp01/ssb2015.htm">http://www.ecmjournal.org/journal/supplements/vol030supp01/ssb2015.htm</a>
Formas organizativas:	<ul style="list-style-type: none"><li>- TPMR, Escuela de Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle, Calle 13 # 100 – 00 ,A.A. 25360, Cali, Colombia.</li><li>- Grupo de Farmacología, Facultad de Salud, Universidad del Valle, Calle 4B No 36 - 00, A.A. 25360, Cali, Colombia.</li></ul>

Tipo de producto:	Artículo
Nombre General:	<i>A. Esguerra-Arce, J. Esguerra-Arce, L. Yate, C. Amaya, L. E. Coy, Y. Aguilar, O. Gutiérrez and S. Moya.</i> <b>The Royal Society of Chemistry Advances.</b> , 2016, 6, 60756
Nombre Particular:	Influence of the Al content on the in vitro bioactivity and biocompatibility of PVD Ti1-xAlxN coatings for orthopaedic applications
Ciudad y fechas:	Sheffield, UK. 17 Junio 2016.
Participantes:	Johanna Esguerra Arce, Adriana Esguerra Arce, Stefano Mischler, Yesid Aguilar Castro, Óscar Gutiérrez, Luis Yate, Cesar Amaya, Emerson Coy.
Sitio de información:	<a href="http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/ra/c6ra08081b#!divAbstract">http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/ra/c6ra08081b#!divAbstract</a>



Formas organizativas:	<ul style="list-style-type: none"><li>- TPMR, Escuela de Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle, Calle 13 # 100 – 00 ,A.A. 25360, Cali, Colombia.</li><li>- Grupo de Farmacología, Facultad de Salud, Universidad del Valle, Calle 4B No 36 - 00, A.A. 25360, Cali, Colombia.</li></ul>
-----------------------	--

Tipo de producto:	Tesis doctoral
Nombre General:	Obtención y caracterización de recubrimientos de fosfato de calcio – titanato de calcio mediante magnetron sputtering para aplicaciones biomédicas
Nombre Particular:	Obtención y caracterización de recubrimientos de fosfato de calcio – titanato de calcio mediante magnetron sputtering para aplicaciones biomédicas
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, Colombia. Mayo 2016.
Participantes:	Johanna Esguerra Arce
Sitio de información:	Biblioteca Mario Carvajal, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
Formas organizativas:	TPMR, Escuela de Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle, Calle 13 # 100 – 00 ,A.A. 25360, Cali, Colombia.

Tipo de producto:	Tesis doctoral
Nombre General:	Síntesis y caracterización del sistema Ti-Al-N/Fosfato de calcio-quitosano como recubrimiento sobre acero inoxidable AISI 304 con potencial aplicación en elementos de fijación ósea
Nombre Particular:	Síntesis y caracterización del sistema Ti-Al-N/Fosfato de calcio-quitosano como recubrimiento sobre acero inoxidable AISI 304 con potencial aplicación en elementos de fijación ósea
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, Colombia. Mayo 2016.
Participantes:	Adriana Esguerra Arce



Sitio de información:	Biblioteca Mario Carvajal, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
Formas organizativas:	TPMR, Escuela de Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle, Calle 13 # 100 – 00 ,A.A. 25360, Cali, Colombia.

#### 4. Impactos actual o potencial:

En el ámbito académico el proyecto hizo un aporte significativo a la comunidad científica al desarrollar una mezcla novedosa entre fosfatos de calcio y titanato de calcio encontrando que éste presenta propiedades superiores al recubrimiento de hidroxiapatita obtenido por magnetron *sputtering*. Además, se hizo una propuesta explicando los pasos *polvo*→*blanco* y *blanco*→*recubrimiento* de recubrimientos CP-TC obtenidos mediante magnetron *sputtering*.

Con respecto al sistema Ti-Al-N/FC-QS, se llevó a cabo la evaluación de la influencia del contenido atómico de aluminio en las propiedades biomédicas y bioactivas *in vitro* de los recubrimientos de Ti-Al-N obtenidos mediante magnetron co-sputtering; la evaluación del efecto de la relación ácido cítrico:[Ca<sup>+2</sup>] en las propiedades biomédicas, topografía superficial y adherencia de los recubrimientos de fosfato de calcio-quitano; y la síntesis y evaluación de la bioactividad y adherencia del sistema bi-capa Ti-Al-N/FC-QS.

Es importante resaltar que la mayoría de los trabajos propuestos para una determinada aplicación médica analizan solo una o dos técnicas de caracterización, por lo que se pueden considerar como estudios no concluyentes. A diferencia de esos trabajos, en éste se realiza una evaluación profunda y sistemática de las propiedades químicas, microestructurales, mecánicas, electroquímicas y biomédicas *in vitro* de los recubrimientos sujeto de estudio, lo cual permite su consideración para posteriores investigaciones *in vivo*.

Estos resultados se ven reflejados en artículos publicados en revistas de alto impacto, tales como *Ceramics International* y *European Cells and Materials* (ya citados arriba). Además, hay otro artículo ya sometido en el journal *Royal Society and Chemistry* titulado *Influence of the Al content on the in vitro bioactivity and biocompatibility of PVD Ti<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N coatings for orthopedic applications* (A. Esguerra Arce, J. Esguerra Arce, L. Yate, E. Coy, Y. Aguilar, O. Guitérrez, S. Moya).



VICERRECTORIA DE INVESTIGACIONES  
División de Proyectos

**FORMATO PARA LA ELABORACIÓN  
DE INFORMES FINALES -  
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

*La presente versión del informe contiene las observaciones de los evaluadores:*

---

Firma del investigador principal

---

VoBo. Vicedecano de Investigaciones

*Por favor presente su informe impreso y en formato digital en hoja tamaño carta, letra arial 11, con espacios de 1 1/2*